

纱岭金矿海水选金及氰化试验研究

王秀会

(莱州汇金矿业投资有限公司)

摘要:海水选金因具有绿色环保的特性受到广泛关注。该技术利用海水中丰富的氯离子与金离子形成稳定络合物的特性,实现对金的选择性浸出。纱岭金矿基于独特的地理位置和资源条件,采用海水选金不仅能大幅减少对淡水资源的依赖,降低运营成本,还能适应深井开采的特殊需求。试验结果表明:海水选金对纱岭金矿的浮选指标影响较小,金回收率可达 95.85%。氰化试验取得了理想的技术指标,在磨矿细度-0.045 mm 占比 95%,CaO 用量达到 6 000 g/t,碱处理时间 3 h,NaCN 用量 7 000 g/t,矿浆浓度 40%,浸出时间 48 h 条件下,获得了浸渣金品位 1.19 g/t、金浸出率 97.96% 的良好选别指标。海水选金在纱岭金矿的应用是资源条件、技术可行性和环保政策共同作用的结果,体现了现代矿业可持续发展的趋势。

关键词:金矿;海水选金;浮选;氰化;复杂难处理;可持续发展

中图分类号:TD923

文章编号:1001-1277(2025)08-0039-04

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250808

引言

黄金作为重要的战略资源,在国民经济发展中发挥着不可替代的作用。黄金凭借优异的物理化学特性,成为电子通信、航空航天、医疗健康等高科技产业的关键原材料。当前,随着绿色矿业理念的推广,黄金产业正朝着技术创新和环保升级的方向发展,进一步提升了其在国民经济中的战略价值。黄金产业不仅关乎当下经济发展,更是国家长远资源安全的重要保障^[1-8]。

近年来,海水选金因具有绿色环保的特性受到广泛关注。该技术利用海水中丰富的氯离子与金离子形成稳定络合物的特性,实现对金的选择性浸出^[9-12]。莱州汇金矿业投资有限公司纱岭金矿(下称“纱岭金矿”)是典型的沿海金矿,海水资源丰富,而淡水资源相对有限。使用海水选金不仅能大幅减少对淡水资源的依赖,降低运营成本,还能适应其深井开采的特殊需求。此外,纱岭金矿金品位较高,矿物成分较为单一,海水中的盐分有助于提高浮选效率。从环保角度来看,海水选金符合绿色矿山建设要求,能够减少对生态环境的影响,同时结合废水回收技术,进一步提升资源利用率。总体而言,海水选金在纱岭金矿的应用是资源条件、技术可行性和环保政策共同作用的结果,体现了现代矿业可持续发展的必然趋势^[13-20]。

1 矿石性质

对原矿进行化学成分分析,结果见表 1。由表 1 可知:矿石中具有回收价值的金属元素为金(2.97 g/t)、银(2.18 g/t)。矿石中金属硫化物主要为黄铁矿,少量闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、毒砂。非金属矿物以长石类及石英为主,其次为碳酸盐矿物及云母、透闪石、重晶石、锆石等。

表 1 原矿化学成分分析结果

Table 1 Chemical composition analysis of raw ores

成分	Au ¹⁾	Ag ²⁾	Cu	Pb	Zn	Fe	As
w/%	2.97	2.18	0.008 1	<0.005	<0.005	2.51	<0.005
成分	Cd	Cr	Sb	Hg	Mn	Co	Ti
w/%	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.033	<0.005	0.059
成分	Mo	Zr	Sr	Bi	Se	Ni	S
w/%	0.012	<0.005	0.047	<0.005	<0.005	<0.005	1.77
成分	C	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂		
w/%	0.41	1.54	0.50	11.62	81.09		

注:1)w(Au)/(g·t⁻¹);2)w(Ag)/(g·t⁻¹)。

2 试验结果与讨论

2.1 试验用水制备

按照实际生产情况,配制试验用水的氯离子质量

收稿日期:2025-03-27;修回日期:2025-05-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0600800)

作者简介:王秀会(1973—),男,高级工程师,从事选矿和矿山建设现场工作;E-mail:459466379@qq.com

浓度需接近采地下矿涌水 3 000 mg/L 的标准。试验用水分析结果见表 2。由表 2 可知:试验用水由当地自来水(占比 83.50 %)和海水(占比 16.50 %)配制而成。当地自来水氯离子质量浓度 25.30 mg/L,海水氯离子质量浓度 17 796.00 mg/L,试验用水氯离子质量浓度 2 958.32 mg/L。

表 2 试验用水分析结果

Table 2 Analysis results of test water

水种类	体积分数/%	$\rho(\text{Cl}^-)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
当地自来水	83.50	25.30
海水	16.50	17 796.00
试验用水	100.00	2 957.47
实际化验分析		2 958.32

2.2 海水选金试验

采用配制好的水,按照磨矿细度-0.074 mm 占比 60 %,一粗两扫三精的试验流程进行闭路试验,以考察试验用水对矿石浮选指标的影响情况。试验流程见图 1,试验结果见表 3。

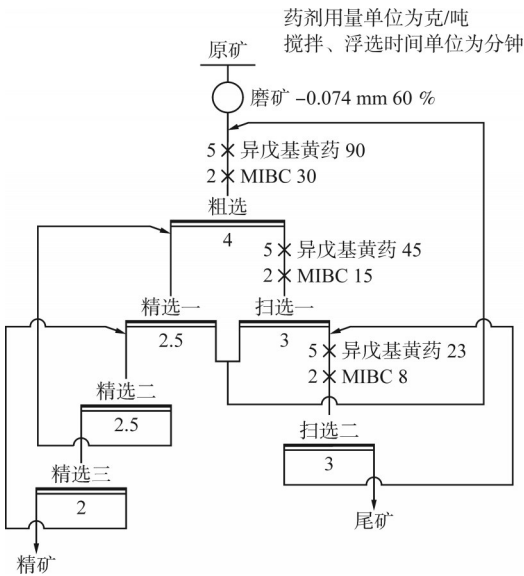


图 1 试验用水闭路试验

Fig. 1 Closed-circuit test of test water

表 3 试验用水闭路试验结果

Table 3 Closed-circuit test results of test water

产物	产率/%	品位/(g·t ⁻¹)		回收率/%	
		Au	Ag	Au	Ag
精矿	4.89	58.31	15.91	95.85	35.91
尾矿	95.11	0.13	1.46	4.15	64.09
原矿	100.00	2.97	2.17	100.00	100.00

前期完成的当地自来水闭路试验结果为:原矿金

品位 2.63 g/t,尾矿金品位 0.10 g/t,精矿金品位 53.44 g/t,精矿产率 4.74 %,金回收率 96.38 %。由表 3 可知:原矿金品位 2.97 g/t,尾矿金品位 0.13 g/t,精矿金品位 58.31 g/t,精矿产率 4.89 %,金回收率 95.85 %;采用接近采矿地下涌水的试验用水(氯离子质量浓度 2 958.32 mg/L)进行选矿,对浮选指标影响较小。

2.3 浮选产品分析

精矿中金属硫化物占比 64.44 %,且以黄铁矿(包括磁黄铁矿)为主,占矿物相对含量的 63.90 %,少量黄铜矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿;金属氧化物占比 0.64 %,主要为磁铁矿、赤铁矿,极少量的褐铁矿;脉石矿物占比 34.92 %,以长石和石英为主。精矿化学成分分析结果见表 4,金主要嵌布特征见图 2。由表 4、图 2 可知:该精矿金品位 58.31 g/t,金矿物种类为自然金,平均成色为 900.2 ‰。金矿物粒度主要分布于 0.037 ~ 0.053 mm,占比 36.4 %,其次分布于 0.010 ~ 0.037 mm、0.053 ~ 0.074 mm,分别占比 24.2 %、19.8 %。人工重砂中所见最大金矿物粒度为 0.23 mm×0.36 mm×0.05 mm。金矿物形态以角粒状、长角粒状为主,合计占比 74.60 %,其他形态含量较少。金矿物嵌连状态以单体金及连生金为主,占比 91.61 %;包裹金占比 8.39 %,且主要为黄铁矿包裹金,脉石矿物包裹金很少见。

表 4 精矿化学成分分析结果

Table 4 Chemical composition analysis results of concentrates

成分	Au ¹⁾	Ag ²⁾	Cu	Pb	Zn	Fe	S
w/%	58.31	15.91	0.14	0.032	0.026	31.14	34.29
成分	Sb	As	C	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
w/%	0.005	0.028	0.51	0.65	0.28	3.41	25.36

注:1)w(Au)/(g·t⁻¹);2)w(Ag)/(g·t⁻¹)。

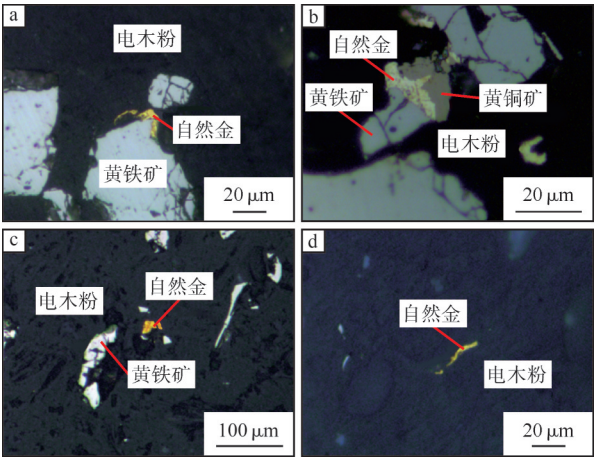


图 2 金主要嵌布特征

Fig. 2 Major occurrence characteristics of gold

2.4 浮选精矿氰化试验

依据工艺矿物学特性,该金精矿适于氰化浸出,

因此进行了详细而全面的氰化浸出条件试验,试验结果见图3。

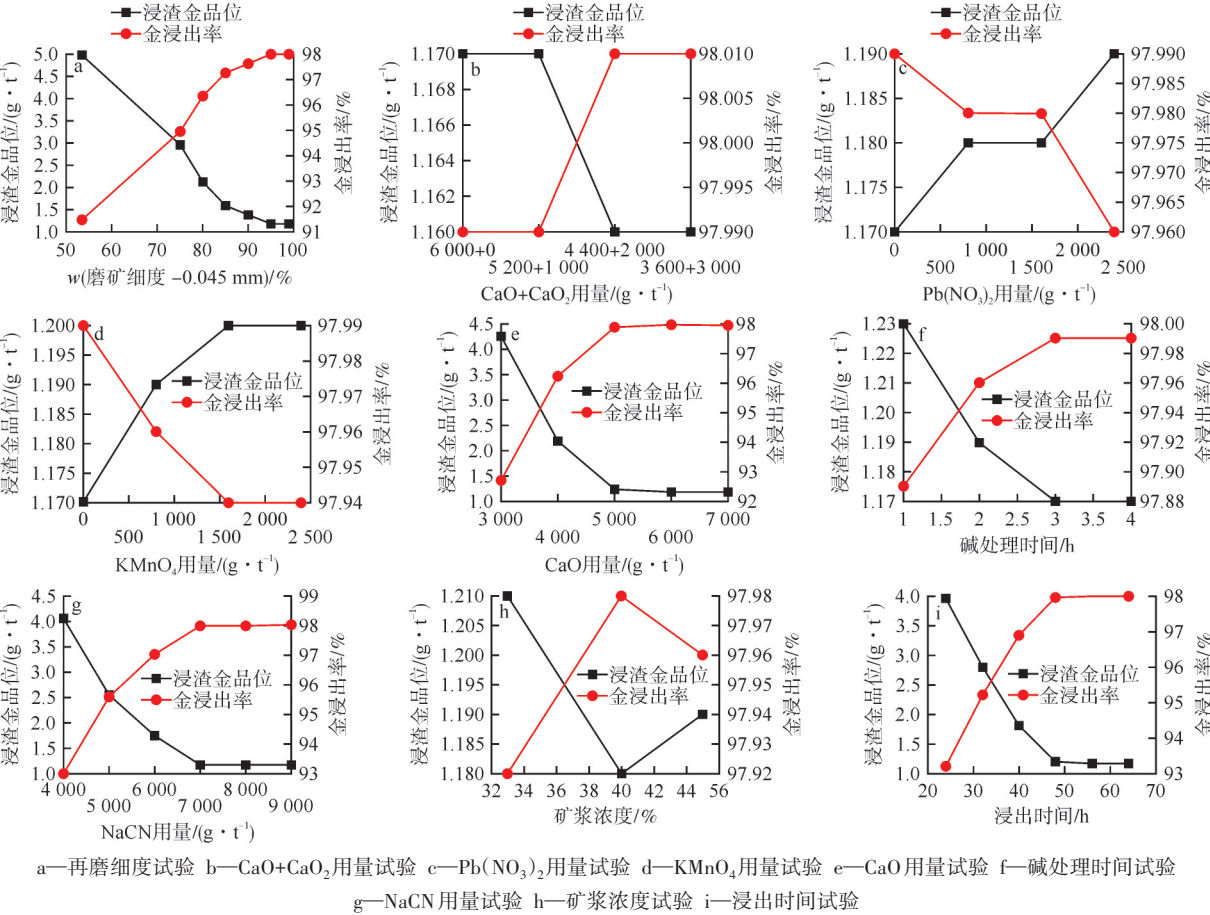


图3 氰化浸出条件试验结果

Fig. 3 Cyanidation leaching condition test results

由图3-a可知:随着磨矿细度-0.045 mm 占比增加,浸渣金品位逐渐降低,金浸出率逐渐提高;当磨矿细度-0.045 mm 占比95%时,浸渣金品位和金浸出率基本稳定,因此,确定磨矿细度-0.045 mm 占比95%。由图3-b~d可知:添加CaO+CaO₂、Pb(NO₃)₂和KMnO₄助浸剂基本没有效果,因此以不添加为宜。由图3-e可知:随着CaO用量增加,矿浆pH逐渐提高;浸渣金品位随之逐渐降低,金浸出率随之逐渐提高,当CaO用量达到6 000 g/t、pH值为11.5时,金浸出效果达到最佳。由图3-f可知:随着碱处理时间延长,浸渣金品位稍有降低,金浸出率略有提高;当碱处理时间延长至3 h时,金浸出效果达到最佳。由图3-g可知:随着NaCN用量增加,浸渣金品位逐渐降低,金浸出率逐渐提高;当NaCN用量达到7 000 g/t时,浸渣金品位、金浸出率基本稳定,因此,确定NaCN用量7 000 g/t较为适宜。由图3-h可知:浸出矿浆浓度40%,浸渣金品位最低,金浸出率最高,因此确定浸出矿浆浓度40%较为适宜。由图3-i可知:随着浸出时间的延长,浸渣金品位逐渐降低,金浸出率逐渐提高;

当浸出时间48 h时,浸出指标基本稳定。

在磨矿细度-0.045 mm 占比95%,CaO用量达到6 000 g/t,碱处理时间3 h,NaCN用量7 000 g/t,矿浆浓度40%,浸出时间48 h条件下,进行综合条件试验,流程见图4,试验结果见表5。由表5可知:浸渣金品位降至1.19 g/t,金浸出率为97.96%。

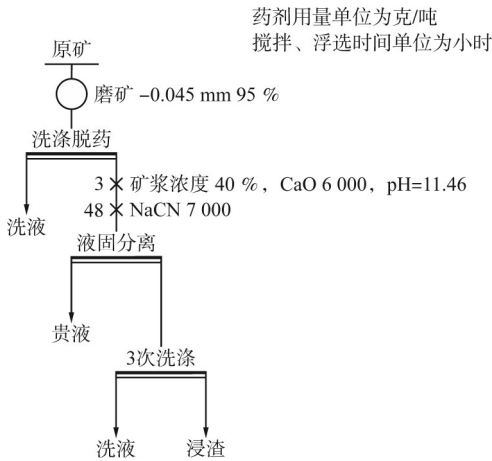


图4 综合条件试验流程

Fig. 4 Flow of comprehensive condition test

表5 综合条件试验结果
Table 5 Comprehensive condition test results

原矿品位/(g·t ⁻¹)		浸渣品位/(g·t ⁻¹)		浸出率/%	
Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
58.31	15.91	1.19	1.92	97.96	87.93

3 结 论

1) 纱岭金矿矿石中具有回收价值的金属元素为金、银。金属硫化物主要为黄铁矿, 非金属矿物以长石类及石英为主。

2) 海水选金试验结果表明, 采用接近采矿地下水涌水的试验用水(氯离子质量浓度 2 958.32 mg/L)进行选矿, 金回收率为 95.85 %, 对浮选指标影响较小。

3) 氰化试验研究结果表明, 在磨矿细度-0.045 mm 占比 95 %, CaO 用量达到 6 000 g/t, 碱处理时间 3 h, NaCN 用量 7 000 g/t, 矿浆浓度 40 %, 浸出时间 48 h 条件下, 进行综合条件试验, 获得了浸渣金品位 1.19 g/t、金浸出率 97.96 % 的良好选别指标。

【参 考 文 献】

[1] 付展能, 徐素凤, 黄风战, 等. 微细粒金银矿石采用海水浮选的研究[J]. 黄金, 1985, 6(1): 33-39.
[2] 张磊, 郭学益, 田庆华, 等. 难处理金矿预处理方法研究进展及工业应用[J]. 黄金, 2021, 42(6): 60-68.
[3] 李骞, 董斯宇, 许瑞, 等. 金矿提金技术及其研究进展[J]. 黄金, 2020, 41(9): 86-101.
[4] 吴冰. 复杂难处理金矿石预处理工艺研究现状及进展[J]. 黄金, 2020, 41(5): 65-72.
[5] 吉强. 复杂难处理金矿石的生物氧化预处理技术及发展现状[J].

世界有色金属, 2021(9): 173-174.
[6] 熊馨, 霸慧文, 寇保德, 等. 青海某低品位金矿石选矿试验研究[J]. 黄金, 2022, 43(5): 68-71.
[7] 刘慧, 王福祥, 王路平, 等. 某金矿深部矿石选矿试验研究[J]. 黄金, 2022, 43(4): 74-78.
[8] 白成庆, 姚凯, 潘仁球, 等. 提高金矿选矿技术指标研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6): 101-103, 108.
[9] 杜淑华, 潘邦龙, 夏亮, 等. 某高硫含砷碳低品位难处理金矿选矿试验研究[J]. 金属矿山, 2020(11): 90-94.
[10] 黄长峰, 曹玉川. 湖南某金矿浮选工艺研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(5): 65-67.
[11] 秦广林, 李光胜, 张文平, 等. 三种含氯离子水样对某金矿浮选指标影响试验研究[J]. 山东化工, 2020, 49(22): 110-111.
[12] 任丽芳, 杨守斌, 于小翠. 三山岛金矿井下海水选矿的应用研究[J]. 中国矿山工程, 2011, 40(3): 45-47.
[13] 徐超, 元传铎, 孙琪伟, 等. 氯离子质量浓度对原矿浮选指标影响的试验研究[J]. 科技与创新, 2023(15): 85-87, 91.
[14] 李国洲, 张宇阳, 庄磊, 等. 淡水稀缺的沿海地区某铁矿选矿用淡水浅析[J]. 矿业工程, 2021, 19(5): 20-24, 32.
[15] CHANG Z Y, CHEN X M, PENG Y J. The effect of saline water on the critical degree of coal surface oxidation for coal flotation [J]. Minerals Engineering, 2018, 119: 222-227.
[16] MU Y F, PENG Y J. The effect of saline water on copper activation of pyrite in chalcopyrite flotation [J]. Minerals Engineering, 2019, 131: 336-341.
[17] ANDRES R, AILYNNE R, LEOPOLDO G, et al. Sodium hexametaphosphate and sodium silicate as dispersants to reduce the negative effect of kaolinite on the flotation of chalcopyrite in seawater [J]. Minerals Engineering, 2018, 125: 10-14.
[18] 姜启秀. 海水选矿与氰化[J]. 有色矿山, 1993(2): 33-35.
[19] 王琼杰. 加强有色金属矿山地质找矿[N]. 中国矿业报, 2002-04-27(001).
[20] KY3BMNHBIX B M, 李永刚. 用海水氰化含金矿石[J]. 黄金, 1985, 6(2): 42-44.

Experimental study on seawater-based gold extraction and cyanidation
in the Shaling Gold Mine

Wang Xiuhui

(Laizhou Huijin Mining Investment Co., Ltd.)

Abstract: Seawater-based gold extraction has attracted widespread attention due to its environmentally friendly characteristics. This method leverages the ability of the rich chloride ions in seawater to form stable complexes with gold ions, enabling selective leaching of gold. Given its unique geographical location and resource conditions, the Shaling Gold Mine adopted seawater-based gold extraction, which significantly reduces dependence on freshwater resources, lowers operational costs, and meets the specific demands of deep underground mining. Experimental results indicate that seawater-based gold extraction has minimal impact on the flotation metrics in the Shaling Gold Mine, with a gold recovery rate reaching 95.85 %. The cyanidation tests yielded favorable technical results: under the conditions of grinding fineness of -0.045 mm accounting for 95 %, CaO dosage of 6 000 g/t, alkaline pretreatment time of 3 h, NaCN dosage of 7 000 g/t, pulp concentration of 40 %, and leaching time of 48 h, good separation performance including a leach residue grade of 1.19 g/t and a gold leaching rate of 97.96 % was achieved. The application of seawater-based gold extraction at the Shaling Gold Mine reflects the combined influence of resource conditions, technical feasibility, and environmental policies, representing a sustainable development trend in modern mining.

Keywords: gold mine; seawater-based gold extraction; flotation; cyanidation; complex and refractory; sustainable development